



МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени Н.Э. БАУМАНА

Учебное пособие

Методические указания
по выполнению домашних заданий
по единому комплексному заданию по блоку дисциплины

«Управление качеством электронных средств»

МГТУ имени Н.Э. Баумана

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени Н.Э. БАУМАНА

Методические указания
по выполнению домашних заданий
по единому комплексному заданию по блоку дисциплины

«Управление качеством электронных средств»

Москва
МГТУ имени Н.Э. Баумана

2012

УДК 681.3.06(075.8)
ББК 32.973-018
И201

Методические указания по выполнению домашних заданий по единому комплексному заданию по блоку дисциплины «Управление качеством электронных средств» / Коллектив авторов –
М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – 29 с.: ил.

В методических указаниях рассмотрены основные этапы, их последовательность и содержание по выполнению домашних заданий курсовой работы по единому комплексному заданию по блоку дисциплины «Управление качеством электронных средств».

Ил. 39. Табл. 5. Библиогр. 7 назв.

УДК 681.3.06(075.8)

СОДЕРЖАНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И ТЕРМИНОВ.....	5
ВВЕДЕНИЕ.....	6
ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	7
ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	12
Расширенное ТЗ.....	12
1 Наименование и область применения изделия.....	12
2 Основание и источник для разработки.....	12
3 Технические требования.....	12
3.1 Требования к надежности.....	12
3.2 Требование к составным частям продукции.....	12
3.3 Требуемые параметры.....	12
3.4 Характеристики внешних воздействии.....	12
4 Экономические показатели.....	12
5 требование к транспортировке и хранению.....	12
6 Приложение.....	13
6.1 Принцип работы устройства.....	13
6.2 Частота мультивибратора.....	14
Домашнее задание №1. ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА.....	15
1 Постановка задачи.....	15
2 Исходные данные.....	15
2.1 Исследуемая функциональная зависимость.....	15
2.2 Погрешность заданной функциональной зависимости.....	15
2.3 Параметры элементов.....	15
2.4 Условия эксплуатации.....	16
2.5 Надежность.....	16
2.6 Допущения.....	16
3 Расчеты.....	16
3.1 Расчет коэффициентов влияния.....	16
3.2 Расчет производственного допуска.....	17
3.3 Расчет температурных погрешностей.....	17
3.4 Расчет допусков при воздействии влаги.....	18
3.5 Расчет допусков при воздействии старения.....	18
3.6 Расчет эксплуатационной погрешности.....	19
Выводы.....	20
Домашнее задание №2. УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ.....	21
4 Постановка задачи.....	21
5 Обеспечение качества устройства по критерию точности выходного параметра..	21
6 Расчеты.....	21
6.1 Расчет производственного допуска.....	21
6.2 Расчет температурных погрешностей.....	21
6.3 Расчет допусков при воздействии влаги.....	21
6.4 Расчет погрешности старения.....	21
6.5 Расчет эксплуатационной погрешности.....	21
Выводы.....	21
7 Алгоритм решения задачи управления качеством мультивибратора по критерию точности выходного параметра – частоты колебаний.....	24
8 Структура системы управления качеством.....	25
9 Осциллограммы сигналов.....	26
Приложение. Схема электрическая принципиальная.....	27
ЛИТЕРАТУРА.....	29

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И ТЕРМИНОВ

SMD	– (surface mount technology) поверхностный монтаж — технология изготовления электронных изделий на печатных платах, а также связанные с данной технологией методы конструирования печатных узлов.
ГОСТ	– Государственный стандарт
ОСТ	– Отраслевой стандарт
ПЭЗ	– Перечень элементов
РЭА	– Радио-электронная аппаратура
ТЗ	– Техническое задание
ТУ	– Технические условия
ЭЗ	– Схема электрическая принципиальная
ЭВС	– Электронно-вычислительные средства
ЭРЭ	– Электро-радио элементы
Проектирование	– процесс, переводящий требования в набор характеристик продукции
Робастность	– состояние, в котором характеристики технологии, процесса или продукции нечувствительны (в определенном диапазоне) к воздействию дестабилизирующих факторов (внешней среды или производства), достигаемое при минимизации стоимости проектирования

ВВЕДЕНИЕ

Качество – всеобщая философская категория, относящаяся в равной мере к обществу в целом, процессам, происходящим в обществе, отдельным предприятиям, их продукции и к людям, производящим и потребляющим эту продукцию. Сегодня во всем мире качество продукции стало главным фактором, обеспечивающим преимущество на товарных рынках. Оно превратилось в новый источник роста национального богатства. Особое место занимает качество продукции, так как в конкурентной среде рынка на первом месте выступает не количество выпуска готовой продукции, а его качество.

Целью методического пособия является знакомство с оценкой качества функциональных узлов ЭВС по критерию качества выходного параметра.

В данном методическом пособии даны рекомендации по составлению и анализу системы обеспечения качества по критерию точности выходного параметра, произведен и обоснован выбор показателя качества, на примере показан расчет производственной погрешности выходного параметра, приведены рекомендации по расчету показателя качества при воздействии дестабилизирующих факторов (температура, влажность, старение). На основе расчетов сделан вывод о соответствии допуска на выходной параметр изделия требованиям ТЗ.

Далее приводится решение задачи управления качеством. Приведены рекомендации по уменьшению допусков на параметры ЭРЭ, благодаря чему удастся выполнять требования ТЗ. Эффективность приведенных рекомендации подтверждены соответствующими расчетами.

Также разработаны алгоритм решения задачи управления качеством мультивибратора по критерию точности выходного параметра и структура управления качеством.

Данное пособие окажется полезной для студентов технических вузов, изучающих курс «Управление качеством ЭВС».

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Проектирование параметров и проектирование допусков

Для понимания идеологии **робастного проектирования** необходимо представить себе место проектирования параметров (в данном случае параметров ЭРЭ) в жизненном цикле изделия.

Традиционно процесс проектирования происходит следующим образом: формируется ТЗ, в котором формализованным языком описывается, каким требованиям должно соответствовать будущее изделие. Затем конструкторы переводят требования в параметры конструкции, как качественные, так и количественные (строго говоря, именно этот процесс называется проектированием, или конструированием). Затем изготавливается опытный образец продукции, который проходит испытания. Если выясняется, что выходные характеристики образца при некоторых условиях выходят за рамки требований, ужесточают требования к параметрам – то есть переходят к использованию более дорогостоящей и точной элементной базы. После нескольких итераций этот процесс приводит к созданию работоспособного изделия – ценой значительного удорожания компонента.

Процесс выяснения, при каких установках параметров выходные характеристики приобретают наибольшую стабильность носит название **«проектирование параметров»**. Когда таким образом получена система, нечувствительная к воздействию дестабилизирующих факторов (робастная система), процесс можно прекратить и переходить к серийному выпуску.

При решении задачи управления качеством необходимо учитывать не только производственные погрешности, но и погрешности, возникающие при воздействии дестабилизирующих факторов.

Однако, не всегда можно добиться полного соответствия системы спецификациям (ТЗ) путем только одного проектирования параметров. Если девиация (отклонение параметра от нормы) выходных характеристик остается недопустимо высокой, можно принять меры для улучшения допусков на внутренние параметры конструкции. Это называется **проектированием допусков**.

Важно, чтобы при проектировании процесс проектирования параметров не подменялся процессом проектирования допусков, потому что уменьшение допустимого разброса характеристик компонентов влечет за собой удорожание изделия на порядок.

На рисунках 1 и 2 поясняются ход процесса проектирования параметров и проектирования допусков.

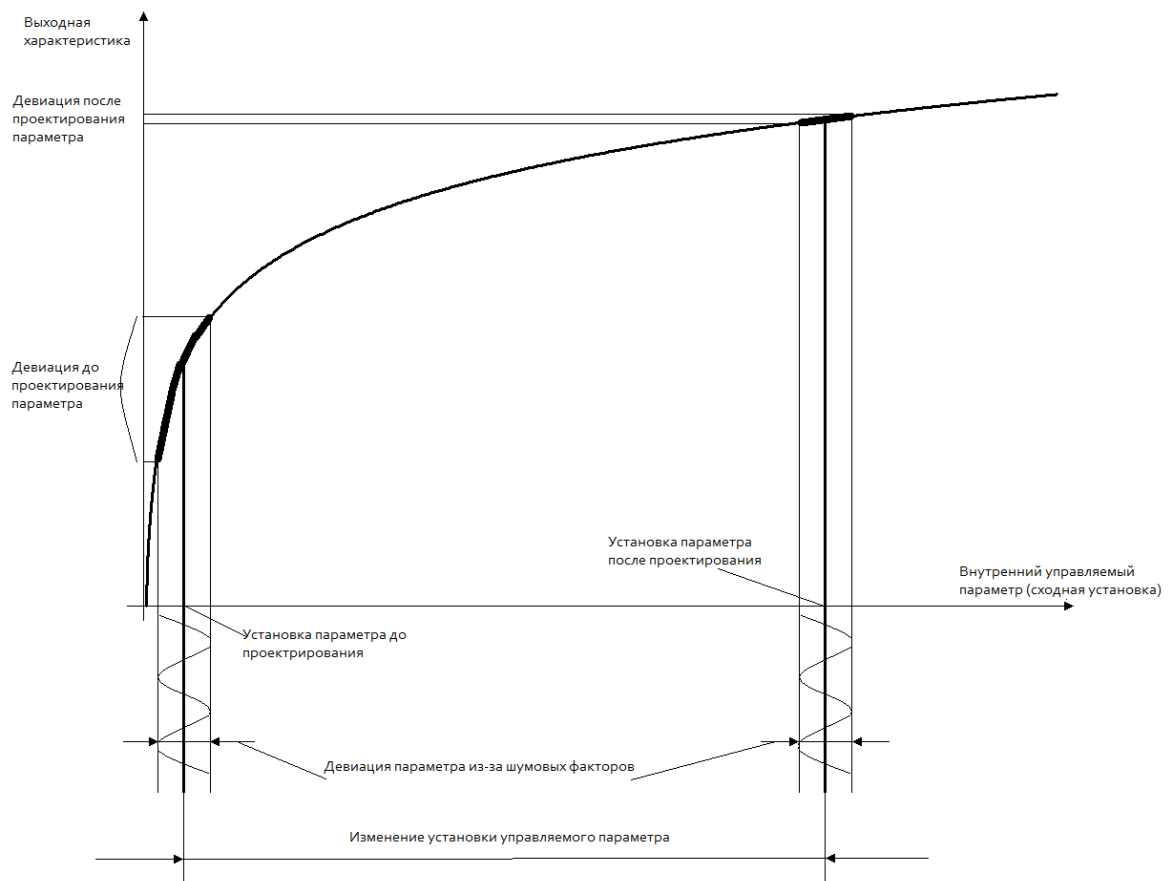


Рисунок 1 – Иллюстрация процесса проектирования параметров

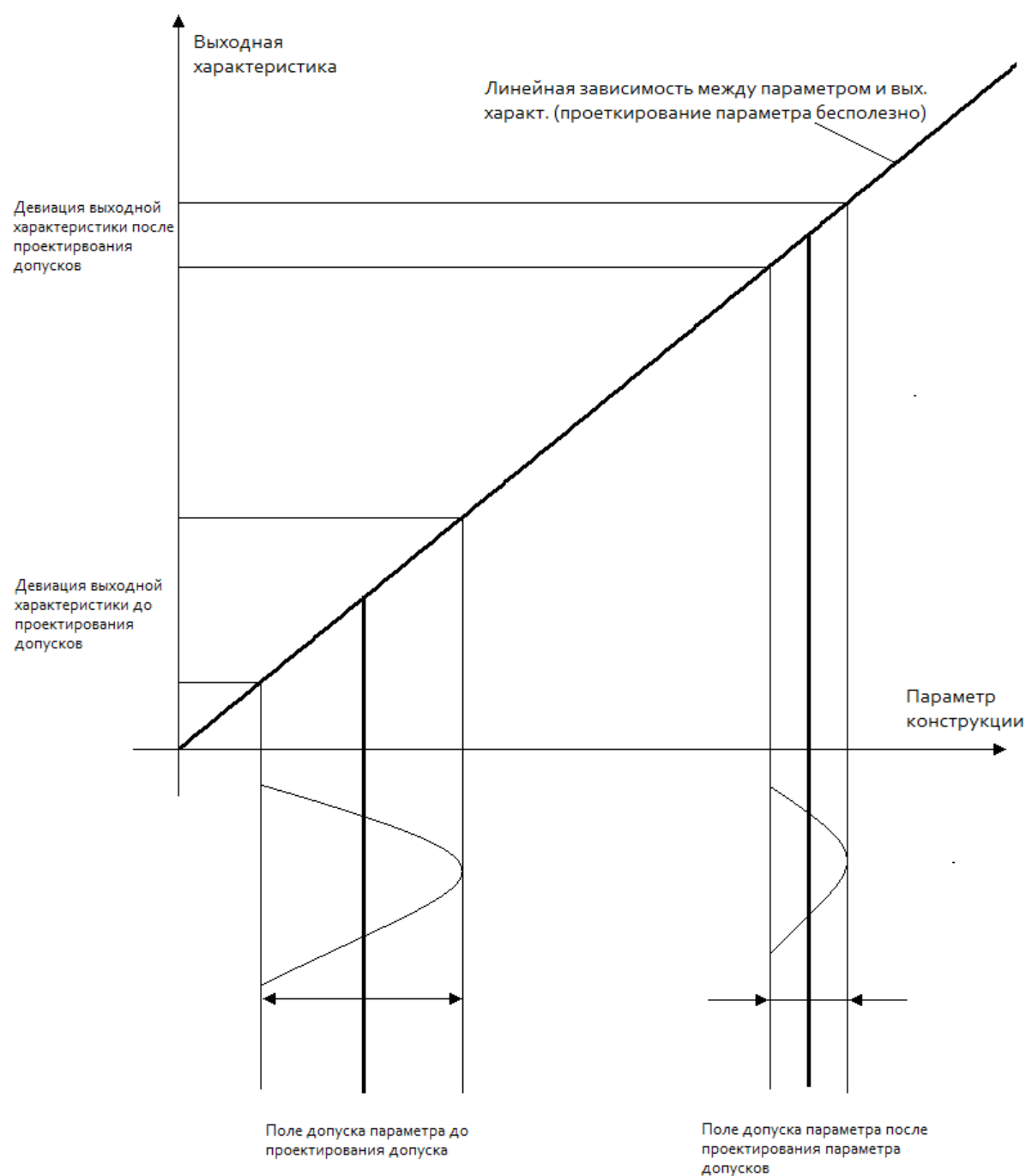


Рисунок 2 – Иллюстрация процесса проектирования допусков

При решении задачи управления качеством необходимо учитывать не только **производственные погрешности (ПР)**, но и погрешности, возникающие при воздействии **дестабилизирующих факторов (ДФ)**, т.е. необходимо добиться робастной системы.

Целесообразность учёта дестабилизирующих факторов характеризуется следующей информацией:

1. Температурная нестабильность узлов ЭВС может составлять 65-70% от общей нестабильности.
2. Старение, влажность может составлять 90% от общей нестабильности.

При оценке качества функциональных узлов ЭВС по критерию точности выходного параметра в качестве сходной информации является аналитическая зависимость y , которая определяется как:

$$y = f(q_1, q_2, \dots, q_i, \dots, q_n), \quad (1)$$

где y – выходной параметр (напряжение U , ток I),

q_i – параметр ЭРЭ.

Запишем уравнение погрешности для решения задачи управления качеством по критерию точности:

$$\frac{\Delta y}{y} = \left(\frac{\Delta y}{y} \right)_{\text{пр}} + \left(\frac{\Delta y}{y} \right)_{\text{дф}} = \left[\frac{\partial f(q_i)}{\partial q_i} \cdot \frac{q_i}{y} \right]_{q_i=q_{io}} \cdot \left[\left(\frac{\Delta q_i}{q_i} \right)_{\text{пр}} + \sum h \cdot \sigma + \alpha \cdot \Delta T + C \cdot \Delta t \right], \quad (2)$$

где $\Delta q_i = q_i - q_{io}$ – погрешность параметра ЭРЭ, причина ухода y от нужного значения,

q_{io} – номинальное значение параметра ЭРЭ,

$\Delta y_j = y_j - y_{jo}$ – погрешность выходного параметра,

h – коэффициент увлажнения,

σ – влажность окружающей среды,

α – температурный коэффициент,

ΔT – диапазон температуры, °C,

C – коэффициент старения,

Δt – интервал времени.

Анализ записанного уравнения показывает, что каждый дестабилизирующий фактор влияет на погрешность выходного параметра автономно и независимо друг от друга, т.е. корреляция между дестабилизирующими факторами отсутствует.

Воздействие влажности:

При воздействии влажности происходит уход параметра ЭРЭ от номинального значения за счет обратимых явлений. Количественно эти изменения будут учитываться с помощью коэффициента увлажнения h . Полагают, что коэффициент увлажнения является величиной случайной и заданной. Также можно допустить, что закон распределения нормальный.

Уравнения для влажности:

$$\left(\frac{\Delta y}{y} \right)_{\text{вл}} = \sum_i B_i \left(\frac{\Delta q_i}{q_i} \right)_{\text{вл}} = \sum_i B_i h_i \sigma_i$$

, где B_i – относительный коэффициент влияния i -го элемента Мера положения:

$$M(h_\Sigma) = \sum_i B_i M(h_i)$$

Поле допуска:

$$\delta(h_\Sigma) = \sqrt{\sum_i B_i^2 \delta^2(h_i) + 2 \sum r_{jk} B_j B_k \delta_j \delta_k}$$

Поле отклонения: $\Delta_{B/I} = M(h_\Sigma) \pm \delta(h_\Sigma)$ (A)

Полученное выражение (A) является добавкой к численно-вероятностным характеристикам показателя качества исследуемого узла, которые определены производственными погрешностями.

Воздействие температуры:

При воздействии температуры T будем учитывать обратимые явления, которые приводят к изменению параметров ЭРЭ. Количественно они учитываются с помощью температурных коэффициентов α . Будем считать, что эти коэффициенты являются величинами случайными и заданными, закон распределения нормальный.

Частное 2-е уравнение погрешности:

$$\left(\frac{\Delta y}{y}\right)_T = \left(\sum_i B_i \alpha_{qi}\right) \Delta T$$

, ΔT – диапазон температур, °C.

Мера положения:

$$M(\alpha_\Sigma) = \sum_i B_i M(\alpha_i)$$

Поле допуска:

$$\delta(\alpha_\Sigma) = \sqrt{\sum_i B_i^2 \delta^2(\alpha_i) + 2 \sum r_{jk} B_j B_k \delta_j \delta_k}$$

Определяем величину Δ_T (поле температурных отклонений):

а) Определяем предельный результирующий температурный коэффициент: $\alpha_{\Sigma \text{пред}}$.

$$\alpha_{\Sigma \text{пред}} = M(\alpha_\Sigma) \pm \delta(\alpha_\Sigma)$$

б) Определяем поле температурных отклонений для каждого температурного диапазона отдельно (для положительных и отрицательных температур):

$$\Delta_{T\pm} = \alpha_{\Sigma \text{пред}} \cdot \Delta T_{\pm}$$

Формулы для определения поля температурных отклонений:

1. Для положительных температур:

$$\Delta_{T+} = [M(\alpha_\Sigma) + \delta(\alpha_\Sigma)] \Delta T^+ = \alpha_{\Sigma \text{пред}} \mu \cdot \Delta T^+ \quad (\text{Б})$$

2. Для отрицательных температур:

$$\Delta_{T-} = [M(\alpha_\Sigma) - \delta(\alpha_\Sigma)] \Delta T^- = \alpha_{\Sigma \text{пред}} \mu \cdot \Delta T^- \quad (\text{В})$$

Воздействие старения:

При управлении качеством под воздействием старения учитываются необратимые явления. Количественно оценивают с помощью коэффициента старения C . Полагают, что коэффициент старения является величиной случайно и заданной, закон распределения нормальный.

Частное уравнение погрешности:

$$\left(\frac{\Delta y}{y}\right)_C = \left(\sum_i B_i C_{qi}\right) \Delta t$$

Мера положения:

$$M(C_\Sigma) = \sum_i B_i M(C_i)$$

Поле допуска:

$$\delta(C_\Sigma) = \sqrt{\sum_i B_i^2 \delta^2(C_i) + 2 \sum r_{jk} B_j B_k \delta_j \delta_k}$$

Условие отклонения за счёт старения:

$$C_{\Sigma \text{пред}} = M(C_\Sigma) \pm \delta(C_\Sigma)$$

Поле отклонения за счет старения:

$$\Delta_{CT} = C_{\Sigma \text{пред}} \cdot \Delta t \quad (\text{Г})$$

При учете влияния старения необходимо рассматривать и конструкторские решения, которые позволили бы в течение времени боевой работы обеспечить требуемый показатель качества (точность выходного параметра).

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Рассмотрим пример решения задачи управления качеством ЭВС по критерию точности выходного параметра.

Расширенное ТЗ

1 Наименование и область применения изделия

Симметричный мультивибратор генерирует сигнал «меандрового» типа, то есть сигнал, в периоде которого длительность импульса и длительность паузы одинакова. Применяется для питания колонок («пищалок»), двигателей постоянного тока, моргания светодиодов и т.д.

2 Основание и источники для разработки

Основанием для разработки служит задание к Домашнему заданию по курсу «Управление качеством электронных средств».

3 Технические требования

3.1 Требования к надежности:

Средняя наработка на отказ: 1000ч. Вероятность безотказной работы устройства в течение 2000 ч должна быть не менее 0,99.

3.2 Требования к составным частям продукции:

Все комплектующие изделия, материалы, полуфабрикаты, применяемые при изготовлении модуля, должны иметь сопроводительную документацию, подтверждающую их соответствии своим ГОСТам, ОСТам и ТУ. Генератор должен быть выполнен с использованием современной элементной базы и минимального количества дефицитных и дорогостоящих компонентов. Параметры покупных изделий должны строго соответствовать их паспортным данным.

3.3 Требуемые параметры:

Напряжение питания	3-6 В
Элемент питания	Батарея 5V ёмкость батареи — 625 мА·ч
Потребляемый ток	150-250 мА
Частота колебаний	720 Гц±10%
Амплитуда колебаний на выходе	5 В

3.4 Характеристики внешних воздействий:

- температура окружающего воздуха: -30°C .. + 55°C;
- относительная влажность воздуха 95% при температуре +35°C;
- атмосферное давление от 84 до 107 кПа.

4 Экономические показатели:

Особых требований к экономическим показателям не предъявляется.

5 Требования к транспортировке и хранению:

Транспортирование упакованных генераторов может производиться практически в любом транспортном средстве.

Упакованные генераторы должны быть закреплены в транспортных средствах, а при использовании открытых транспортных средств, в случае кратковременного транспортирования, защищены от атмосферных осадков и брызг воды.

Размещение и крепление упакованных микропроцессорных металлоискателей в транспортных средствах должны обеспечивать их устойчивое положение, исключать возможность ударов друг о друга, а также о стенки транспортных средств.

Условия транспортирования:

- температура, °C- от – 40 до + 60;
- относительная влажность при температуре +35°C, 95%.

Генератор в транспортной упаковке выдерживает тряску с ускорением 9 м/с^2 при частоте ударов от 10 до 120 в минуту.

Упакованные генераторы должны храниться на стеллажах в сухом помещении при отсутствии в воздухе паров кислот, щелочей и других агрессивных примесей.

Условия хранения в части воздействия климатических факторов должны соответствовать требованиям ГОСТ 15150-69.

6 Приложение

6.1 Принцип работы устройства

На рисунке 6.1.1 показан симметричный мультивибратор. Мультивибратор имеет 2 неустойчивых состояния.

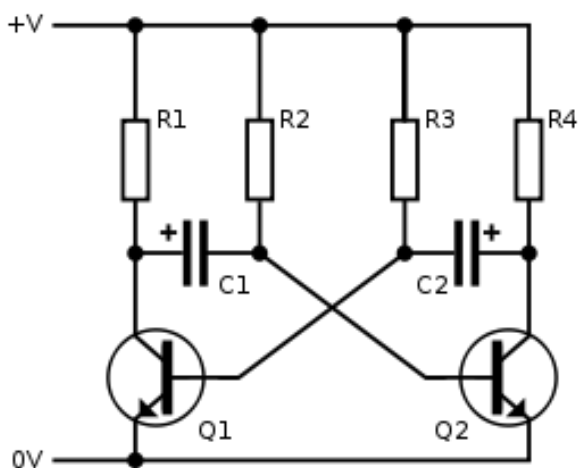


Рисунок 6.1.1 – Симметричный мультивибратор

Состояние 1: Q1 закрыт, Q2 открыт и насыщен, C1 быстро заряжается базовым током Q2 через R1 и Q2, после чего при полностью заряженном C1 (полярность заряда указана на схеме) через R1 не течет тока, напряжение на C1 равно (ток базы Q2)* R2, а на коллекторе Q1 — питанию.

Напряжение на коллекторе Q2 невелико (падение на насыщенном транзисторе).

C2 заряжен ранее в предыдущем состоянии 2, полярность по схеме. Получаем напряжение на базе Q1 = (небольшое напряжение на коллекторе Q2) — (большое напряжение на C2) — то есть отрицательное напряжение, наглухо запирающее транзистор.

Состояние 2: то же в зеркальном отражении.

Переход из состояния в состояние: в состоянии 1 C2 начинает медленно перезаряжаться через открытый Q2 и R3. Отрицательное напряжение на нем уменьшается,

а напряжение на базе Q1 — растет, пока через довольно длительное время не достигнет положительного значения.

Это приведет к началу открытия Q1, появлению коллекторного тока через R1 и Q1 и падению напряжения на коллекторе Q1 (падение на R1). Так как C1 заряжен и быстро разрядиться не может, это приводит к падению напряжения на базе Q2 и началу закрытия Q2.

Закрытие Q2 приводит к снижению коллекторного тока и росту напряжения на коллекторе (уменьшение падения на R4). В сочетании с перезарядкой C2 это еще более повышает напряжение на базе Q1. Эта положительная обратная связь приводит к насыщению Q1 и полному закрытию Q2.

Такое состояние (состояние 2) поддерживается в течение времени перезаряда C1 через открытый Q1 и R2.

Таким образом, постоянная времени одного плеча есть $C1 \cdot R2$, второго — $C2 \cdot R3$. Это дает длительность импульсов и пауз.

Также эти пары подбираются так, чтобы падение напряжения на резисторе в условиях протекания через него тока базы было бы большим, сравнимым с питанием.

R1 и R4 подбираются как много меньшие, чем R2 и R3. Зарядка конденсаторов через R1 и R4 должна быть быстрее, чем перезарядка через R2 и R3.

6.2 Частота мультивибратора

Длительность одной из двух частей периода равна $t = \ln(2) \cdot R \cdot C$. Длительность периода из двух частей равна:

$$T = t_1 + t_2 = \ln 2 \cdot R_2 \cdot C_1 + \ln 2 \cdot R_2 \cdot C_1 \quad (3)$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{\ln 2 \cdot (R_2 \cdot C_1 + R_2 \cdot C_1)} \quad (4)$$

,где

f – частота в Гц.

R_2 и R_3 – величины резисторов в Омах.

C_1 и C_2 – величины конденсаторов в Фарадах.

T – длительность периода.

Для симметричного мультивибратора, $t_1 = t_2$, $R_2 = R_3 = R$, $C_1 = C_2 = C$. Поэтому формула (4) будем иметь вид:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{\ln 2 \cdot 2 \cdot R \cdot C} \quad (5)$$

Домашнее задание №1. ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА

1 Постановка задачи

Задача: оценить точность значения выходного параметра (частоты колебаний) для схемы «симметричного мультивибратора» и обеспечить необходимую точность в случае превышения заданной в ТЗ погрешности.

При решении поставленной задачи воспользуемся:

- 1) заданными номинальными значениями параметров элементов функционального узла (в соответствии с ПЭЗ).
- 2) условиями эксплуатации устройства (в соответствии с ТЗ).
- 3) функциональной зависимостью выходного параметра от параметров элементов (в соответствии со схемотехнической частью ТЗ)
- 4) температурными коэффициентами элементов (в соответствии с данными по элементам схемы)
- 5) коэффициентами влажности элементов (в соответствии с данными по элементам схемы).
- 6) коэффициентами старения элементов (в соответствии с данными по элементам схемы).

При решении задачи будем учитывать, что на работу данного функционального узла оказывают воздействие следующие факторы:

- 1) Производственная погрешность.
- 2) Температура.
- 3) Влажность.
- 4) Старение элементов.

2 Исходные данные

2.1 Исследуемая функциональная зависимость

Исследуемая функциональная зависимость симметричного мультивибратора представляет собой частоту колебаний выходных импульсов и имеет следующий вид:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{\ln 2 \cdot 2 \cdot R \cdot C} \quad (6)$$

где C - номинальное значение емкости конденсатора входящей в схему.
 R - номинальное значение сопротивления резистора, входящего в схему ($R=R_2=R_3$, влиянием $R_1=R_4$ можно пренебречь)

2.2 Погрешность заданной функциональной зависимости

Отклонения выходного параметра не должны превышать 10 %.

2.3 Параметры элементов

2.3.1 Номинальные значения параметров элементов

В соответствии с ЭЗ имеем следующие номинальные значения сопротивления резистора и емкости конденсатора, входящих в схему:

ЭРЭ	Номинальное значение	Допуск на ЭРЭ
R	10 кОм	$\pm 10 \%$
C	0,1мкФ	$\pm 20 \%$

Параметры элементов подчиняются нормальному закону распределения.

2.3.2. Температурные коэффициенты элементов

Для резисторов типа SMD: - при температуре от 20°C до 105°C $\alpha = +0.01\% / ^\circ\text{C}$
 - при температуре от 20°C до -55 °C $\alpha = +0.03\% / ^\circ\text{C}$

2.3.3. Коэффициенты влажности элементов

Для резисторов типа SMD: $h = (1.5 \pm 4.5)\%$

2.3.4. Коэффициенты старения элементов

Для резисторов типа SMD: $C = \pm 1,5 \cdot 10^{-3} \%$ /ч

Для электролитических конденсаторов: $C = \pm 1,25 \cdot 10^{-3} \%$ /ч

2.4 Условия эксплуатации

1. В соответствии с ТЗ заданы следующие условия эксплуатации устройства:
2. 1. Температурный диапазон: -30°C...+55°C.
3. 2. Относительная влажность: 95% при 35°C
4. 3. Атмосферное давление: 84 – 107 КПа.

2.5 Надёжность

В соответствии с ТЗ заданы следующие показатели надёжности:

Средняя наработка на отказ: 1000ч. Вероятность безотказной работы устройства в течение 2000 ч должна быть не менее 0,99

2.6 Допущения

Допускаем, что отсутствует корреляция параметров элементов, входящих в исследуемую функциональную зависимость.

3 Расчет

3.1 Расчёт коэффициентов влияния

Номинальное значение выходного параметра:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{\ln 2 \cdot 2 \cdot R \cdot C} = \frac{1}{\ln 2 \cdot 2 \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 0.1 \cdot 10^{-6}} \approx 721.35 \text{ кГц}$$

где

C - номинальное значение емкости конденсатора входящей в схему.

R- номинальное значение сопротивления резистора, входящего в схему.

Формула для расчёта коэффициентов влияния:

$$B_i = \left[\frac{\partial f_0(q_1, q_2)}{\partial q_i} \cdot \frac{q_i}{f_0(q_1, q_2)} \right]_{q_i=q_{i0}}, \quad (7)$$

где

B_i – коэффициент влияния.

q_i – реальное значение параметра ЭРЭ.

δq_i – абсолютная погрешность параметров ЭРЭ.

$f(q_1, q_2, q_3)$ – аналитическая зависимость выходных параметров, как функция параметров ЭРЭ.

y – номинальное значение выходного параметра.

Введём условные обозначения и посчитаем коэффициенты влияния.

$$q_1 \equiv R \equiv R_{\text{ном.}}, \quad q_2 \equiv C \equiv C_{\text{ном.}}$$

Используя формулу (2), рассчитаем коэффициенты влияния:

$$B_1 = \left[\frac{\partial f_0(q_1, q_2)}{\partial q_1} \cdot \frac{q_1}{f_0(q_1, q_2)} \right]_{q_1=R} = -\frac{1}{\ln 2 \cdot 2 \cdot C} \cdot R^{-2} \cdot R \cdot \ln 2 \cdot 2 \cdot C \cdot R = -1$$

$$B_2 = \left[\frac{\partial f_0(q_1, q_2)}{\partial q_2} \cdot \frac{q_2}{f_0(q_1, q_2)} \right]_{q_2=C} = -\frac{1}{\ln 2 \cdot 2 \cdot R} \cdot C^{-2} \cdot C \cdot \ln 2 \cdot 2 \cdot C \cdot R = -1$$

Из полученных значений коэффициентов влияний видно, что влияние на выходной параметр одинаково влияют и резистор, и конденсатор.

3.2 Расчёт производственного допуска

Определим среднюю относительную погрешность выходного параметра узла, приняв $y(\{q_i\}) \equiv f_0(\{q_i\})$:

$$M\left(\frac{\Delta y}{y}\right) = \sum_{i=1}^3 \left(B_i \cdot M\left(\frac{\Delta q_i}{q_i}\right) \right) = 0 \quad (8)$$

Так как параметры ЭРЭ распределены по нормальному закону, то $M\left(\frac{\Delta q_i}{q_i}\right) = 0$, и

следовательно, и выражение (8), также равно 0.

Определим величину половины производственной погрешности, приняв во внимание, что корреляция параметров ЭРЭ отсутствует:

$$\delta\left(\frac{\Delta y}{y}\right) = \gamma \sqrt{\sum_{i=1}^2 B_i^2 \cdot \delta_i^2 \cdot K_i^2 + 2 \cdot \sum_{j,k} r_{j,k} \cdot B_j \cdot B_k \cdot \delta_j \cdot \delta_k \cdot K_j \cdot K_k} \quad (9)$$

γ – коэффициент гарантированной надежности (для надежности 0.99 равен $\gamma=0,857$);

K_i – коэффициент относительного рассеивания (поскольку параметры ЭРЭ подчинены нормальному закону распределения, $K_i = 1$);

$\delta(\Delta x_i/x_i)$ – половина поля допуска i -того параметра ЭРЭ;

$2 \cdot \sum_{j,k} r_{j,k} \cdot B_j \cdot B_k \cdot \delta_j \cdot \delta_k \cdot K_j \cdot K_k$ – выражение, учитывающее корреляцию (так как у нас нет корреляции, то она равна 0)

$$\delta\left(\frac{\Delta y}{y}\right) = 0.867 \sqrt{[-1 \cdot 0.1 \cdot 1]^2 + [-1 \cdot 0.2 \cdot 1]^2} \cong 0.194 \equiv 19.4\%$$

Следовательно, учитывая только производственную погрешность, выходной параметр будет лежать в интервале: $y=720 \text{ Гц} \pm 19,4\% = 580..860 \text{ Гц}$

3.3 Расчёт температурных погрешностей.

В данной схеме используются резисторы типа SMD.

Для резисторов типа SMD: - при температуре от 20°C до 105°C $\alpha = +0.01\% / ^\circ\text{C}$
 - при температуре от 20°C до -55°C $\alpha = +0.03\% / ^\circ\text{C}$

Определим мат. ожидание суммарного температурного коэффициента для положительных температур:

$$M\left(\frac{\Delta y}{y}\right) = \sum_{i=1}^3 (B_i \cdot M(\alpha)) = 0$$

Поскольку корреляция отсутствует, половину поля рассеяния суммарного температурного коэффициента для положительных температур, можно вычислить по формуле:

$$\text{Для положительных температур: } \delta^+(\alpha) = \gamma \sqrt{B_i^2 \cdot K_i^2 \cdot \delta^2(\alpha^+)} \quad (10)$$

Половина поля рассеивания температурного коэффициента выходного параметра

$$\delta^+(\alpha) = 0.867 \sqrt{[1 \cdot 1 \cdot 0.01]^2} = 0,00867 \frac{\%}{^{\circ}\text{C}}$$

Температурный допуск на верхней границе температурного диапазона:

$$\delta^+(T) = \delta^+(\alpha) \cdot (t_{\max} - t_{\text{окр.ср.}}) = 0,00867 \cdot (105 - 20) = 0.734\%$$

$$\text{Для отрицательных температур: } \delta^-(\alpha) = \gamma \sqrt{B_i^2 \cdot K_i^2 \cdot \delta^2(\alpha^-)} \quad (11)$$

Половина поля рассеивания температурного коэффициента выходного параметра

$$\delta^-(\alpha) = 0.867 \sqrt{[-1 \cdot 1 \cdot 0.03]^2} = 0,026 \frac{\%}{^{\circ}\text{C}}$$

Температурный допуск на нижней границе температурного диапазона:

$$\delta^-(T) = \delta^-(\alpha) \cdot (t_{\text{окр.ср.}} - t_{\max}) = 0,026 \cdot (-55 - 20) = -1,95\%$$

3.4 Расчет допусков при воздействии влаги.

Резистор имеет коэффициент влажности $h = M(h) \pm \delta(h) = (1.5 \pm 4.5)\%$

В данной схеме влажность влияет только на SMD резисторы, следовательно:

$$M(h) = \sum_i B_i \cdot M(h_i) = -1 \cdot 1.5 = -1.5$$

Поскольку корреляция отсутствует, то половина поля рассеяния коэффициента влажности вычислим следующей по формуле:

$$\delta(h) = \gamma \sqrt{\sum_{i=1}^1 B_i^2 \cdot \delta_i^2(h)} = 0.867 \sqrt{[-1 \cdot 4.5]^2} = 3.9\% \quad (12)$$

В результате получим, что: $h_{\Sigma} = -1.5 \pm 3.9\%$

3.5 Расчет допусков при воздействии старения

Предполагаем, что изменения параметров необратимые и коэффициенты старения подчиняются нормальному закону распределения. По техническому условиям на резистор SMD величина сопротивления после 2000 часов работы изменяется на $\pm 3\%$. Тогда для резисторов коэффициент старения равен:

$$C_R = \pm 3 / 2000 = \pm 1.5 \cdot 10^{-3} \%/\text{ч}$$

$$C_C = \pm 1,25 \cdot 10^{-3} \%/\text{ч}$$

Параметры мультивибратора со временем изменяются незначительно, т.к. коэффициент старения равен:

$$K_{\text{свт}} = 0$$

Рассчитаем математическое ожидание и половину поля рассеивания суммарного коэффициента старения:

$$M(C_{\text{рез}}) = M(C_{\text{кон}}) = 0$$

$$\delta(C) = \gamma \sqrt{\sum_{i=1}^2 B_i^2 \cdot \delta_i^2(C)} = 0.867 \sqrt{[-1 \cdot 1.5 \cdot 10^{-3}]^2 + [-1 \cdot 1.25 \cdot 10^{-3}]^2}$$

$$= 1,692 \times 10^{-3} \% / \text{ч}$$

Предельное отклонение выходного параметра после 2000 часов эксплуатации под воздействием старения будет равно:

$$\left(\frac{\Delta y}{y}\right)_{\text{стар}} = \delta(C) \cdot \Delta t = 1.692 \times 10^{-3} \cdot 2000 = 3.384\%$$

В результате получим: $C_{\Sigma} = 0 \pm 3.384\%$

3.6 Расчет эксплуатационной погрешности.

Максимальные пределы смещения среднего значения суммарного поля рассеивания вычислим по следующим формулам:

$$M\left(\frac{\Delta y}{y}\right)_{\Sigma}^{+} = M\left(\frac{\Delta y}{y}\right) + \sum_{i=1}^2 M_i\left(\frac{\Delta y}{y}\right)^{+} = -1.5\%$$

$$M\left(\frac{\Delta y}{y}\right)_{\Sigma}^{-} = M\left(\frac{\Delta y}{y}\right) + \sum_{i=1}^2 M_i\left(\frac{\Delta y}{y}\right)^{-} = 0\%$$

Случайная составляющая суммарного рассеивания при наибольшей величине половины температурной погрешности определим по формуле:

$$\delta\left(\frac{\Delta y}{y}\right)_{\Sigma} = \sqrt{\left[\delta\left(\frac{\Delta y}{y}\right)_{\text{пр}}\right]^2 + \left[\delta\left(\frac{\Delta y}{y}\right)_{\text{тем}}\right]^2 + \left[\delta\left(\frac{\Delta y}{y}\right)_{\text{влаж}}\right]^2 + \left[\delta\left(\frac{\Delta y}{y}\right)_{\text{стар}}\right]^2}$$

$$= \sqrt{19.4^2 + 1.95^2 + 3.9^2 + 3.384^2} = 20.17\%$$

Примем коэффициент запаса на уход параметров под воздействием неучтенных факторов $\xi = 1.05$. Тогда суммарный допуск будет равен:

$$\delta_{\Sigma} = \xi \left(M\left(\frac{\Delta y}{y}\right)_{\Sigma}^{-} - \delta\left(\frac{\Delta y}{y}\right)_{\Sigma} \dots M\left(\frac{\Delta y}{y}\right)_{\Sigma}^{+} + \delta\left(\frac{\Delta y}{y}\right)_{\Sigma} \right) \quad (13)$$

$$\delta_{\Sigma} = 1,05(-1.5\% - 20.17\% \dots 0\% + 20.17\%) = -22.75\% \dots 21.18\%$$

Выводы

Следовательно, частота колебаний генератора может изменяться в диапазоне $580..860 \text{ Гц}$ при номинальном значении 720 Гц . По ТЗ частота колебаний должна изменяться от номинального значения не более чем на 10%.

Анализируя полученный результат:

$$\delta \left(\frac{\Delta y}{y} \right)_{\text{расч}} \leq \left[\delta \left(\frac{\Delta y}{y} \right) \right] \rightarrow \begin{cases} 24.33\% \not\leq 10\% \\ 21.18\% \not\leq 10\% \end{cases} \Rightarrow \text{не выполняется. По результатам}$$

расчетов допусков можно утверждать, что преимущественное влияние оказывает производственная погрешность, следовательно, необходимо принять меру к ее уменьшению. Таким образом, повысим, точность компонента, который вносит наибольший вклад в суммарную погрешность выходного параметра. Из анализа коэффициентов влияния, видно, что этим элементом является конденсатор, так как коэффициент влияния для него наибольший. Следовательно, назначим меньший допуск (5%) на параметр емкости и резистора для достижения требуемой по ТЗ точности выходного параметра.

Домашнее задание №2. УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

4 Постановка задачи

Задача: изменить параметры или тип элементов схемы симметричного мультивибратора таким образом, чтобы эксплуатационная погрешность при заданных элементах не превышала показателя, заданного в ТЗ.

5 Обеспечение качества устройства по критерию точности выходного параметра

Как было указано в предыдущей главе, для достижения условий заданных в ТЗ назначим более жесткие требования к точности номинала емкости конденсатора C . Допуск на емкость должен быть менее 10%, так как допуск на выходной параметр равен 20%, а коэффициент влияния емкости равен единице. Таким образом, при допуске на емкость 20%, расчетный допуск на выходной параметр может быть больше либо равен 10%.

Кроме этого следует также повысить точность R , так как их коэффициенты влияния вносят существенный вклад в суммарный допуск.

Введение же таких мер как термостатирование не внесет существенных изменений точности выходного параметра, в силу того, что температурный допуск намного меньше производственного, но такие меры приведут к существенному увеличению стоимости конструкции генератора.

Из приведенных рассуждений назначим допуск 5% на емкость C , а также допуск 5% на резистор, и проведем перерасчет допуска выходного параметра.

6 Расчеты

6.1 Расчет производственного допуска

Определим величину половины производственной погрешности, приняв во внимание, что корреляция параметров ЭРЭ отсутствует:

$$\delta\left(\frac{\Delta y}{y}\right) = \gamma \sqrt{\sum_{i=1}^4 B_i^2 K_i^2 \left[\delta\left(\frac{\Delta q_i}{q_i}\right)\right]^2} \quad (14)$$

$$\delta\left(\frac{\Delta y}{y}\right) = 0.867 \sqrt{[-1 \cdot 1 \cdot 0.05]^2 + [-1 \cdot 1 \cdot 0.05]^2} = 0.061 = 6,1\%$$

Следовательно: $y = 720 \pm 6,1\% = 676 \dots 764 \text{ Гц}$

6.2 Расчет температурного допуска

Математическое ожидание суммарного температурного коэффициента для положительных температур:

$$M\left(\frac{\Delta y}{y}\right) = \sum_{i=1}^2 B_i \cdot M(\alpha_i) = 0$$

$$\text{Для положительных температур: } \delta^+(\alpha) = \gamma \sqrt{\sum_{i=1}^2 B_i^2 \cdot K_i^2 \cdot \delta^2(\alpha^+)}$$

Половина поля рассеивания температурного коэффициента выходного параметра

$$\delta^+(\alpha) = 0.867 \sqrt{[-1 \cdot 1 \cdot 0.01]^2} = 0,00867 \frac{\%}{^\circ\text{C}}$$

Температурный допуск на верхней границе температурного диапазона:

$$\delta^+(T) = \delta^+(T_K) \cdot (t_{max} - t_{окр.ср.}) = 0,00867 \cdot (105 - 20) = 0,734\%$$

Для отрицательных температур: $\delta^-(\alpha) = \gamma \sqrt{\sum_{i=1}^2 B_i^2 \cdot K_i^2 \cdot \delta^2(\alpha^-)}$

Половина поля рассеивания температурного коэффициента выходного параметра

$$\delta^-(\alpha) = 0,867 \sqrt{[-1 \cdot 1 \cdot 0,03]^2} = 0,026 \frac{\%}{^\circ C}$$

Температурный допуск на нижней границе температурного диапазона:

$$\delta^-(T) = \delta^-(\alpha) \cdot (t_{окр.ср.} - t_{max}) = 0,026 \cdot (-55 - 20) = -1,95\%$$

6.3 Расчет погрешности при воздействии влажностью

В данной схеме влажность влияет только на SMD резисторы, следовательно:

$$M(K_B) = \sum_i B_i \cdot M(K_{Bi}) = (-1) \cdot 1,5 = -1,5$$

Поскольку корреляция отсутствует, то половина поля рассеяния коэффициента влажности вычислим следующей по формуле:

$$\delta(h) = \gamma \sqrt{\sum_{i=1}^1 B_i^2 \cdot \delta_i^2} = 0,867 \sqrt{[-1 \cdot 4,5]^2} = 3,9\%$$

6.

В результате получим, что: $K_{B\Sigma} = -1,5 \pm 3,9\%$

6.4 Расчет погрешности старения

Рассчитаем математическое ожидание и половину поля рассеивания суммарного коэффициента старения:

$$M(C_{рез}) = M(C_{кон}) = 0$$

$$\delta(C) = \gamma \sqrt{\sum_{i=1}^2 B_i^2 \cdot \delta_i^2} = 0,867 \sqrt{[-1 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3}]^2 + [-1 \cdot 1,25 \cdot 10^{-3}]^2} = 1,69 \times 10^{-3} \%/\text{ч}$$

Предельное отклонение выходного параметра после 2000 часов эксплуатации под воздействием старения будет равно:

$$\left(\frac{\Delta y}{y}\right)_{\text{стар}} = \delta(C) \cdot \Delta t = 1,69 \times 10^{-3} \cdot 2000 = 3,38\%$$

В результате получим: $C_\Sigma = 0 \pm 3,38\%$

6.5 Расчет эксплуатационной погрешности

Максимальные пределы смещения среднего значения суммарного поля рассеивания вычислим по следующим формулам:

$$M\left(\frac{\Delta y}{y}\right)_{\Sigma}^+ = M\left(\frac{\Delta y}{y}\right) + \sum_{i=1}^3 M_i\left(\frac{\Delta y}{y}\right)^+ = -1,5\%$$

$$M\left(\frac{\Delta y}{y}\right)_{\Sigma}^{-} = M\left(\frac{\Delta y}{y}\right) + \sum_{i=1}^3 M_i\left(\frac{\Delta y}{y}\right)^{-} = 0\%$$

Случайная составляющая суммарного рассеивания при наибольшей величине половины температурной погрешности определим по формуле:

$$\begin{aligned} \delta\left(\frac{\Delta y}{y}\right)_{\Sigma} &= \sqrt{\left[\delta\left(\frac{\Delta y}{y}\right)_{\text{пр}}\right]^2 + \left[\delta\left(\frac{\Delta y}{y}\right)_{\text{тем}}\right]^2 + \left[\delta\left(\frac{\Delta y}{y}\right)_{\text{влаж}}\right]^2 + \left[\delta\left(\frac{\Delta y}{y}\right)_{\text{стар}}\right]^2} \\ &= \sqrt{6.1^2 + 1.95^2 + 3.9^2 + 3.38^2} = 8.04\% \end{aligned}$$

Примем коэффициент запаса на уход параметров под воздействием неучтенных факторов $\xi = 1.05$. Тогда суммарный допуск будет равен:

$$\delta_{\Sigma} = \xi \left(M\left(\frac{\Delta y}{y}\right)_{\Sigma}^{-} - \delta\left(\frac{\Delta y}{y}\right)_{\Sigma} \dots M\left(\frac{\Delta y}{y}\right)_{\Sigma}^{+} + \delta\left(\frac{\Delta y}{y}\right)_{\Sigma} \right)$$

$$\delta_{\Sigma} = 1,05(-1.5\% - 8.04\% \dots 0\% + 8.04\%) = -9.89\% \dots 8.44\%$$

Выводы

Следовательно, частота колебаний генератора может изменяться в диапазоне 676..764 Гц при номинальном значении 720 Гц. По ТЗ частота колебаний должна изменяться от номинального значения не более чем на 10%.

Анализируя полученный результат:

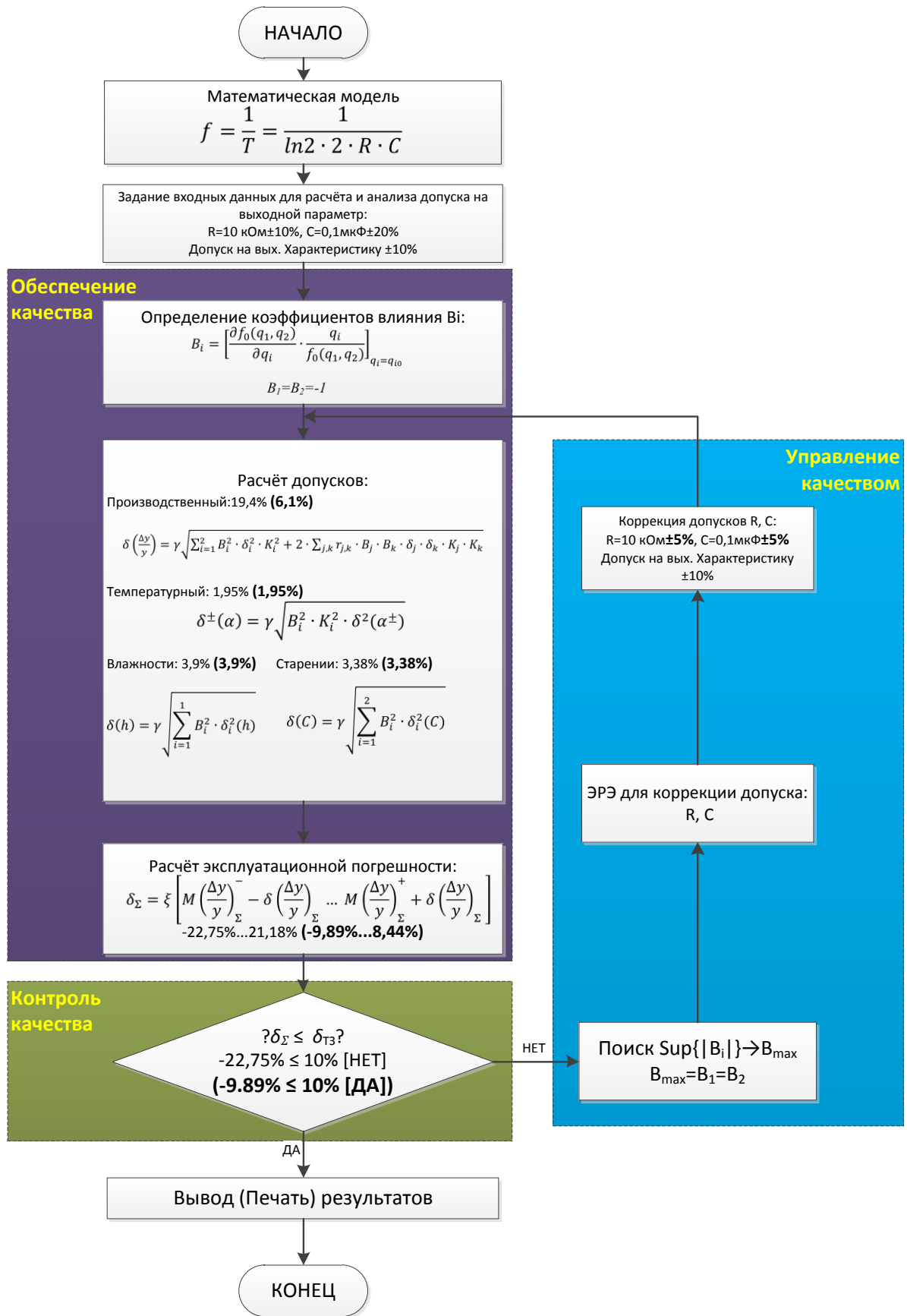
$$\delta\left(\frac{\Delta y}{y}\right)_{\text{расч}} \leq \left[\delta\left(\frac{\Delta y}{y}\right)\right] \rightarrow \begin{cases} 9,89\% \leq 10\% \\ 8,44\% \leq 10\% \end{cases} \Rightarrow \text{приходим к выводу, что неравенство}$$

выполняется. Полученная точность удовлетворяет требованиям ТЗ. Таким образом, принятые меры позволили в значительной степени снизить эксплуатационную погрешность.

Таблица 1. Сравнение параметров схемы до и после коррекции

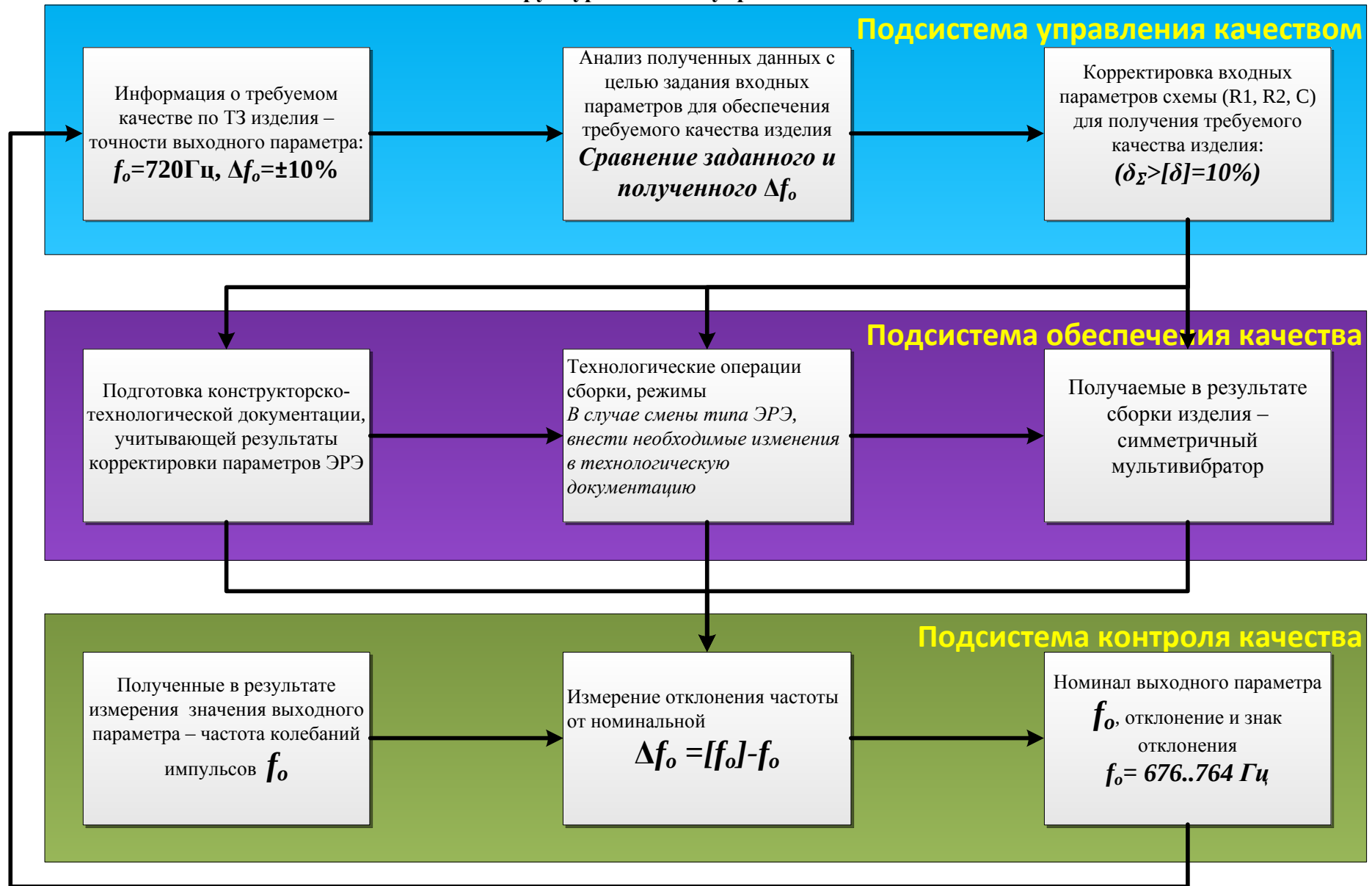
Значение параметров элементов схемы и их допусков до коррекции		Значение параметров элементов схемы и их допусков после коррекции	
R ₁ =10 кОм	±10%	R ₁ =10 кОм	±5%
C=0,1 мкФ	±20%	C=0,1 мкФ	±5%

7 Алгоритм решения задачи управления качеством мультивибратора по критерию точности выходного параметра – частоты колебаний



Жирными линиями показаны данные после коррекции.

8 Структура системы управления качеством



9 Осциллограммы сигналов

На рисунке 9.1 показана схема в пакете Proteuse 7.7 SP2.

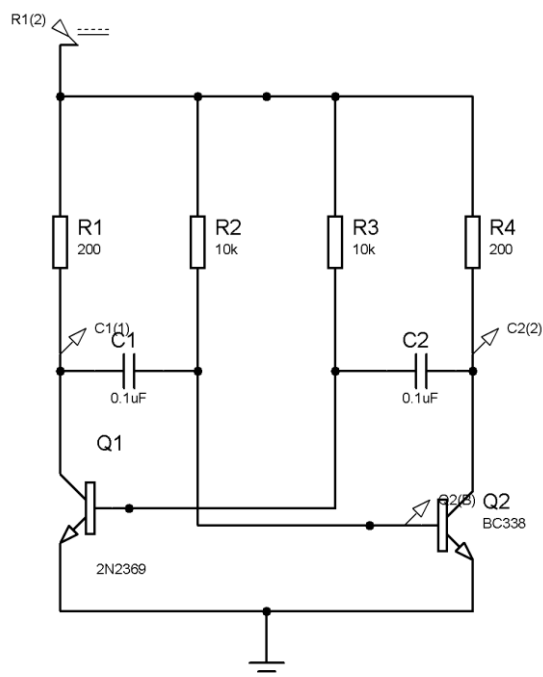


Рисунок 9.1 – Схема мультивибратора в Proteuse 7.7

Осциллограмма импульсов показана на рисунке 9.2.

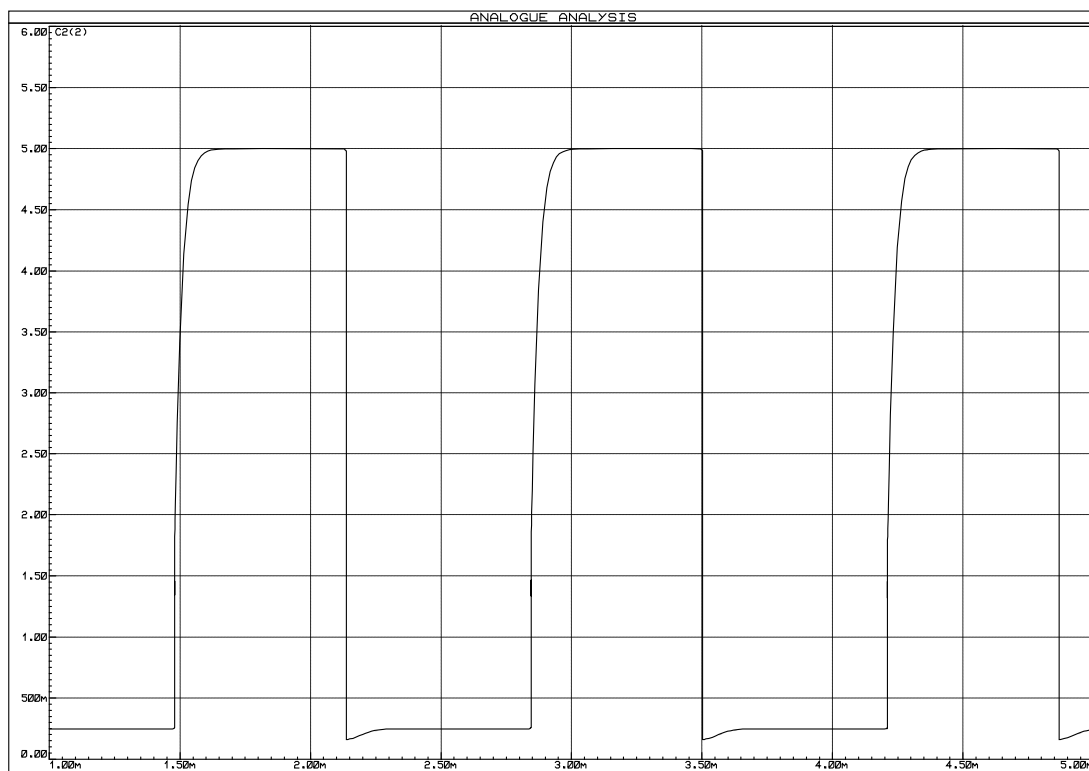


Рисунок 9.2 – Осциллограммы импульсов мультивибратора

Приложение. Схема электрическая принципиальная

Перв. примен.	ИУ 4.10.00.00.01 33									
Справ. №	<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 10%;">Ком.</th> <th style="width: 90%;">Цепь</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>$E_{пит} = 5 В$</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2</td> <td>GND</td> </tr> </table>				Ком.	Цепь	1	$E_{пит} = 5 В$	2	GND
Ком.	Цепь									
1	$E_{пит} = 5 В$									
2	GND									
Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дудл	ИУ 4.10.00.00.01 33							
Инв. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.						
	Разраб.	Лист	Казанцев В.В.	Дата						
	Пров.	Лист	Маркелов В.В.	Дата						
	Т.контр.	Лист		Дата						
	Н.контр.	Лист		Дата						
	Утв.	Лист		Дата						
Симметричный мультивибратор Схема электрическая принципиальная			Лит.	Масса						
			Лист	Листов 2						
			МГТУ им. Н.Э. Баумана Кафедра ИУ 4 Группа ИУ 4-82							

[illegible]

ЛИТЕРАТУРА

1. Системы управления. Инжиниринг качества / А.Г. Варжапетян, В.В. Анохин и др.; Под ред. А.Г. Варжапетяна. – 3-е изд. – М.: Вузовская книга, 2006. – 320 с: ил.
2. А.С. Беляева, О.Д. Парфенов, А.К. Еськин, А.В. Фролов Методические указания к дипломному проектированию по специальности «Конструирование и производство РЭА и ЭВА» / под ред. А.Н. Чеканова. – М.: Изд-во МВТУ им. Н.Э. Баумана, 1980. – 35 с.: ил.
3. Бондаренко И.Б., Иванова Н.Ю., Сухостат В.В. Управление качеством электронных средств. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2010. – 211с.
4. А.Е.Аверьянихин, А.И.Власов, Л.В.Журавлева, Л.А.Зинченко, В.А.Соловьев ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГЛАМЕНТА при оформлении конструкторско - технологической документации при выполнении домашних заданий, курсовых работ и проектов / под ред. В.А.Шахнова. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. - 52 с.: ил.